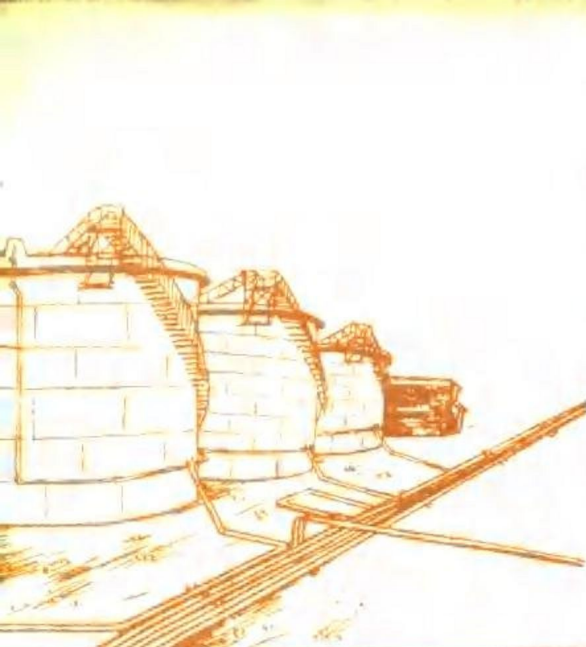


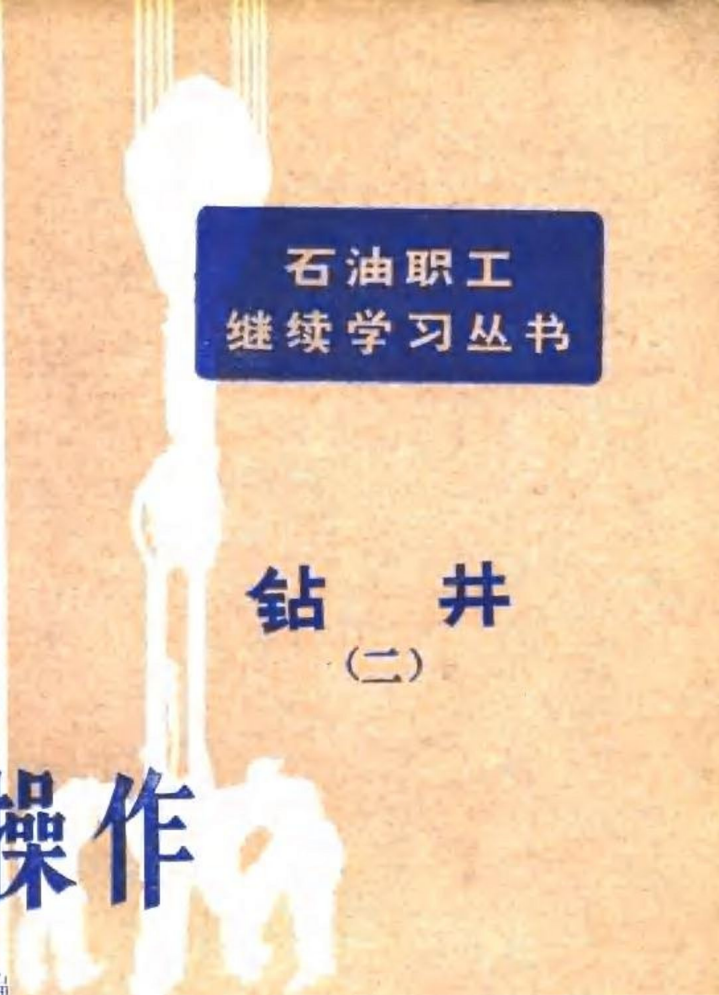
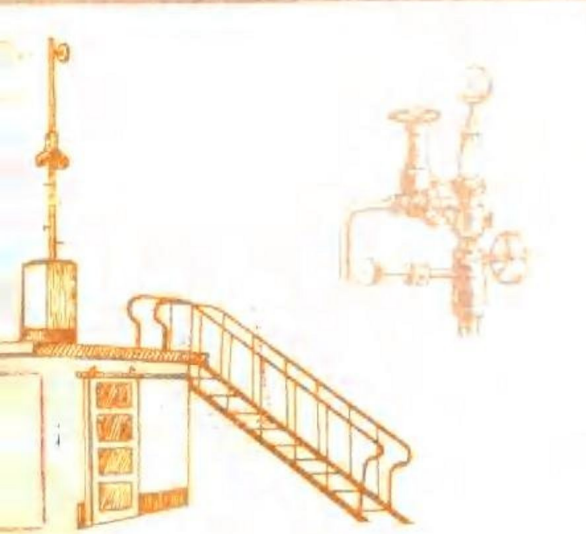


石油职工
继续学习丛书

钻 井 (二)

钻井基本操作

〔美〕 得克萨斯大学 编



石油工业出版社

TE
3
3:2(2)

石油职工继续学习丛书

钻 井

(二)

钻井基本操作

〔美〕得克萨斯大学 编

张启昌 杨呈德 王维刚 陈山俊 李勋桂 译
王维刚 校

石油工业出版社

A877660

内 容 提 要

由美国国际钻井承包商协会教育培训部主持,得克萨斯大学有关部门编写了石油职工学习丛书的钻井部分,本书即是这部分的第二册,名为《钻井基本操作》,第一册《钻机及其维护保养》,第三册《钻井特殊操作》,第四册《海洋技术》。这部分可供为期两年或者更多一点时间的家庭自学用,内容实在,简明易懂,尤其是从六十年代到目前这段时间里,本书经过多次修订,日趋完善,很受石油钻井工作者欢迎。由于书中所涉及的工艺技术和设备使用等情况,与我国石油钻井的现场情况比较接近,因此,很适合我国中等文化水平的石油钻井工作者学习参考,也可作为技工学校的教学参考书。

这一册主要介绍有关钻井,钻井泥浆,钻直井,下套管和注水泥,测试和完井等方面内容。为了便于复习,每章都配置了一定数量的练习题。

The University of Texas
LESSONS IN ROTARY DRILLING
Normal Drilling Operations
PETROLEUM EXTENSION SERVICE
THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN

*
石油职工继续学习丛书

钻 井

(二)

钻井基本操作

[美]得克萨斯大学 编

张启昌 杨呈德 王维刚 陈山俊 李勋桂 译

王维刚 校

*
石油工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

大厂回族自治县印刷厂印刷

*
开本787×1092¹/₁₆ 印张17 插页1 字数405千字 印数1—8,000

1981年12月北京第1版 1981年12月北京第1次印刷

书号15037·2238 定价1.45元

出 版 说 明

美国得克萨斯大学有关部门受美国石油学会和美国国际钻井承包商协会的委托，从六十年代起，陆续编写了一套为刚从事石油工作的新人员学习的丛书，这套书经多次修订再版，已逐步完善，并日益受到石油工作者的重视。据我们目前的了解，这套丛书包括石油钻井、石油和天然气开采、油井的维护和大修、石油储运、海洋操作技术和基础知识等方面的内容。这套书适于新工人自学，也可以作为培训技工的教材，有的内容则可作为初学者的入门指导。

我们现将拿到手的部分陆续翻译出版，并统称为《石油职工继续学习丛书》，以供我国石油工作者，特别是石油厂矿工人学习参考用。我们相信，随着我国石油工业的发展，以及与国际间石油技术交流活动的开展和新设备的不断引进，将这套丛书介绍给我国的石油工人，对我们的工作是有一定益处的。

目 录

第一章 钻井	1
第一节 导言	1
第二节 钻井中的各种因素	1
第三节 地质剖面	1
第四节 钻机的能力	3
第五节 钻井泥浆程序	7
第六节 钻头	10
第七节 钻时试验	10
第八节 旋转因素	17
第九节 钻进的水力因素	19
第十节 极限压差	27
第十一节 在南路易斯安那州的钻井实践	29
第十二节 在西得克萨斯州的超深井	30
附录 I 钻机分级准则	30
附录 II 术语汇编	33
复习题	36
第二章 钻井泥浆	38
第一节 钻井液的功用与组成	38
第二节 钻井液的现场试验方法	42
第三节 水基泥浆的处理	61
第四节 油基泥浆	82
第五节 空气、天然气、雾化和泡沫	85
第六节 钻井液问题	89
第七节 泥浆成本的控制	99
附录 I 用于泥浆工作的工程数据和计算方法	101
附录 II 常用泥浆化学处理剂和添加剂部分目录表	107
复习题	109
第三章 钻直井	111
第一节 直井的定义	111
第二节 早期的井斜测量方法	112
第三节 钻井承包合同中井斜条款的演变	114
第四节 现代的井眼弯曲理论	116
第五节 摆锤效应	118
第六节 反摆锤力	118
第七节 狗腿的概念	119
第八节 扶正井眼	122
第九节 扶正器解决的问题	128

第十节 直井测斜仪器	135
复习题	144
第四章 下套管和注水泥	146
第一节 引言	146
第二节 套管的类型	148
第三节 API的套管标准	151
第四节 套管柱的设计	155
第五节 套管尺寸的考虑	157
第六节 下套管	157
第七节 套管柱的坐定	170
第八节 衬管的坐放	173
第九节 油井注水泥	175
第十节 油井水泥和添加剂	198
附录 套管的最低性能表	200
复习题	210
第五章 测试和完井	212
第一节 引言	212
第二节 地层评价方法	214
第三节 地层测试	221
第四节 油井完井	239
第五节 油井的增产措施	256
第六节 经济上的考虑	261
附录 钻杆地层测试安全操作规程	263
复习题	264

第一章 钻 井

第一节 导 言

钻井行业中有一句老行话：钻井，就是把钻头放到井底，然后向右转。

这是一种典型的枯燥、幽默的说法，持这种说法的人常常是油田老手。虽然它说对了一些，但是对钻井的大部分含义却离题甚远。

必须承认在钻井中有许多因素起着重要作用，因此，在开始钻一口井时就应该对这些因素给以充分考虑。许多因素已在《钻机及其维护保养》的各章中简略提及。《钻机及其维护保养》一书的主要内容是组成钻井装置的所有设备及其部件；而本书的主要内容是如何正确使用钻机来钻井，以便降低钻井成本。

从下面几节中可以看到，既存在许多钻井成功的可能性；也同样存在许多钻井不利的条件，其结果井打得不好，有时甚至造成井眼报废。

第二节 钻井中的各种因素

钻井中每一项工作不可能都是合乎理想的。确定正确的钻井技术措施要综合考虑许多因素。下面举一个例子来说明：

如果钻的某一层段绝大部分是易钻地层，例如是软页岩，就可下一只长齿牙轮钻头。在软的易钻地层中夹一层薄的硬岩石，在钻穿硬夹层之前，钻头磨钝了并把它取出来，然后下入一只硬地层钻头，可是，只钻了几英尺就将硬地层钻穿又进入软的粘性页岩，这时，硬地层钻头怎么也钻不好软地层，因此，又把它取了出来。这种情况可否综合考虑选用一只钻头，它可以在软地层中钻进，虽然钻进速度不太快，但是碰到另一个硬夹层时，它又有较长的使用时间，这就是在软、硬地层中均非理想却能兼顾的一种钻头。

钻井工作常常要采用一系列的这种折衷方法。为了作出正确的判断，司钻和钻井队长应该弄清楚钻井中有关的各种复杂因素，现将这些因素中的最重要的几点列举如下，并逐一加以讨论：

- 1) 地质剖面。这与所钻地层的特性有关。
- 2) 钻机能力。
- 3) 钻井泥浆程序。
- 4) 钻头。
- 5) 钻井工作中三个关键因素：是钻头钻压；转盘转速；水力因素。

第三节 地 质 剖 面

每口井中所钻地层的特性是在很早以前(可能是千百百万年前)就形成的，没有任何人能

改变客观存在的地层。不管地层有什么特性，司钻总是要和它打交道。如果司钻能尽可能多地了解地层特性，那么，他就能把工作做得更好。

如果是一口油田的扩边井，或者是在油田内的一口井，通常容易取得一些资料，例如，一般可在邻近的完钻井上取得钻头使用记录和测井记录，在该地区从事钻头和泥浆技术服务的工作人员也可提供某些有价值的线索。

司钻如果是在新地区工作，建议他在开钻前，尽可能多地进行调查，往往简单地了解一下情况，就可能得到不少资料。

此外，除了要取得所钻地层的可钻性外，还应该掌握一些对于预测某些复杂情况有价值的资料。

一、地层流体和地层压力

司钻，首先应该关心的第一件事，是要了解本地区已经记录的地下气层和水层压力究竟有多高。如果确有高压气层或水层，那末，可能出现在哪一深度？要钻经的地层是否含有大量危险性的水或气？如果确实有，那末，关于紧急防喷设备又如何处置？盐水流的情况如何？泥浆性能又如何维护等问题。

二、井眼的弯曲问题

所钻的井是否在易斜地区？如果是在易斜地区，那末，首先出现的易斜井段的深度是多少？钻井队对井斜的预防措施是什么？合同上关于井眼偏斜问题又是怎么规定的，是规定总偏斜角度呢？还是规定每一百英尺井段的最大偏斜角度（即“狗腿”）？这些问题都要考虑。

三、地下标准层（图1-1）

在已经做过大量钻井工作的地区，有一些公认的地下标准层，借助于这些标准层，可以校正位于更深井段的预计目的层是提前了还是加深了。

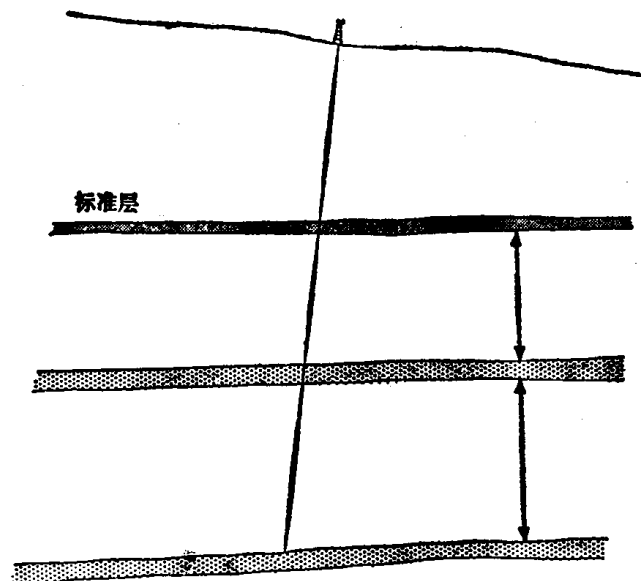


图 1-1 标准层能准确推断出其它重要层段

例如，在美国西得克萨斯和新墨西哥的二叠纪盆地中，罗斯特勒硬石膏层是公认的标准层。钻穿了这个层段，测出其埋藏深度，查明它的位置是“升高”了还是“降低”了之后，就可以确定在这个标准层下面潜在产层的深度。

四、断层（图1-2）

断层是许多油田的地质特征。实际上，在构成油气田的油气积聚过程中，断层通常都起着十分重要的作用。司钻并不需要成为一位业余的地质学家，也可领会到断裂地层在钻井工作中所占的重要位置。

地层的断裂可能是局部性的，仅限于个别油田的一部分（如得克萨斯沿岸的康罗油田）或者是一个能延伸很长距离的断裂系，并且可能由于断层的“走向”，包含许多潜在的油田。这方面的一个最著名的例子，就是美国从东北到西南横贯得克萨斯州的巴尔康内斯

断裂带。

在某些断裂油田中钻进时，会出现一种奇怪的地质现象，即重复钻遇某一地层；某一地层的出现比预计的深度高些或低些；或者某些本来应该出现的地层却完全消失了。

五、不坚固地层

1. 易坍塌页岩

差不多半个世纪以来，某些地区的司钻都非常熟悉许多地层，首先是被称为“膨胀性页岩”的地层。当这些地层被泥浆中的水浸泡时就膨胀，并堵塞井眼，其结果常常引起事故，往往导致井眼报废，或者至少报废一部分钻柱。

虽然现在对于这些地层情况非常清楚，但是还要在某些地区的这种地层中钻进，因而对这种地层仍然要严加注意，不能掉以轻心。

2. 漏失地层

渗漏泥浆的漏失地层，从地表层到极深地层，在各种不同深度都可遇到，为了恢复循环，不仅要中断正常钻进，而且时常会造成事故。

既然在钻进时不可能绕过漏失地层，那末，只能在钻达这些地层前采取预防措施，迅速的果断行动可以减轻在漏失地层内钻进而出现的困难。

六、盐层

在堪萨斯、得克萨斯、俄克拉何马和新墨西哥州，盐层面积达几千平方英里，许多油井要钻穿岩盐沉积层。有些盐层的厚度达1500英尺，但也有许多沉积盐层的厚度则为几英尺到几百英尺不等。

当井下有大段的盐层存在时，要制定钻穿盐层的专门措施。在制定钻井泥浆程序时常常要考虑到这些盐层。在某些情况下，可以采用“清洗”方法尽量减轻钻杆和管线的腐蚀。

在任何情况下，有盐层存在的层段，司钻应该严密注意盐层，准备处理可能会出现各种问题。

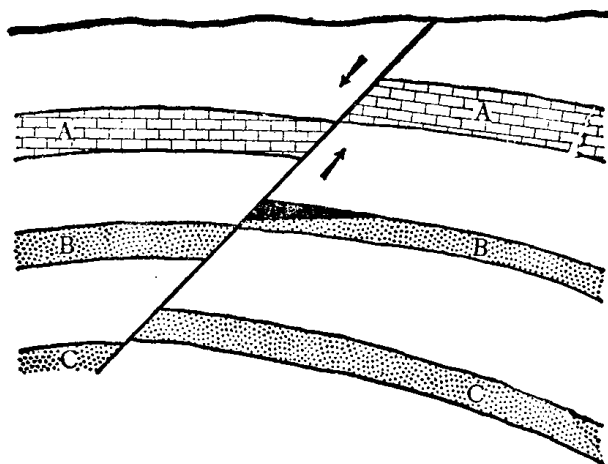


图 1-2 断层有时控制油的积聚

第四节 钻 机 的 能 力

一台钻机有两种能力需要讨论，一种是钻机的“总能力”，另一种是“钻井能力”。

一、总能力

标题就告诉我们，本节是考虑钻机在完成一口井中起作用的所有部件的能力。钻机上的每个部件几乎都应加以考虑。

提升能力是高效率起下钻柱和处理套管柱的一个因素。有效的制动设备是提升系统中的基本部分。提升用原动机的能力是整个系统中的一部分。

泥浆振动筛、防喷器、天车和游动滑车、泥浆配制设备，所有这些是每个系统中的一部分。

在对比钻机总能力中，应先注意在实际钻进作业中，即方钻杆往下钻时，起关键作用的部件。

二、钻进能力

假如一位司钻走上钻台，他的上一班司钻刚好把新钻头下到井底，于是，手扶刹把，放松刹车，往下钻进。在他当班的八小时之内，必须要完成计划进尺的任务。

他应使用钻机的全部钻进能力，也应用他的全部知识和能力。

一直到打完一个方钻杆行程之前，他所关心的是：

- 1) 泥浆泵（及其原动机）。
- 2) 转盘（及其原动机）。
- 3) 钻柱和钻头。

一打完一个方钻杆行程，就有一段停止钻进的短暂时间，这就是接单根和接方钻杆，以便继续往下钻。他希望在他这一班的其余时间里仍然是：

钻进——接单根——钻进，以此类推。

最后，为了更换新钻头，迟早要进行一次起下钻作业，这时，就有一段较长的停止钻进的时间。在起下钻作业期间，泥浆泵停止运转，钻柱和钻头产生很大的悬重，这个时候，司钻所关心的是钻机的提升能力。有关起下钻的问题后面再讨论。

三、钻进时对钻机的要求

启动泥浆泵，泵压多少？

放松悬重，钻压加多大？

启动转盘，转盘转速是多少？

钻头到达井底，是真井底吗？

钻头开始钻井，是哪一种钻头？

泥浆开始循环，是什么种类的泥浆？

泥浆池液面上升或下降，为什么？

为了回答上述问题中的一个，司钻得首先要回答一个或多个其它问题。幸好，上一班司钻在交班时告诉过他每个关键问题。

当司钻从钻头的工作情况中开始得到一些回答后，也许只要几分钟就能掌握一切，并对突然发生的任何新征象来调整他的想法。

但是，司钻必须记住的一件大事：他应该如何利用为他提供的钻机、钻柱、泥浆程序、泥浆处理设备、钻头、钻头喷嘴和钻机仪表等来进行工作。

四、起下钻作业的要求

在连接第一个单根的时候，就得用钻机的提升设备。也许，为了对有井喷显示的井，试验其井喷的可能性，先起出1~2柱立根，情况正常后，再进行连续的起钻作业。作业时应考虑：

可以利用的功率能满足提升钻柱负荷的需要吗？

游动系统缠绕几根钢丝绳？

钻机和井架能承受多大负荷？

钻机刹车能力和工作情况怎样？

根据以上条件，停泵后自井底起出钻柱要用多长时间？

五、提升的要求

起下钻作业和接单根的时间，对于钻井的主要目的来说，不是钻机的生产使用时间，但是，起下钻作业对于更换钻头、钻进中接单根和起钻测井等，又是必须的。绞车、游动系统和大钩等部件的负载能力应该满足作业要求，由合适的柴油机驱动，尽量减少非生产使用时间。大直径井眼要求使用大尺寸的钻铤和钻柱；深井由于钻柱长必定是重负荷；这两种情况都要求较大的钻机功率以提高工作效率，而且其功率比小井径浅井大得多。图1-3引自API公报D10“选用转盘钻井设备的程序”，图中表明在各种速度下提升不同负荷所需的大钩功率。应该注意的是，图中功率是指大钩需要的功率；为了克服由于并车箱、绞车、钢丝绳和游动系统等摩擦所造成的机械损失，柴油机的功率还要更大。在几台柴油机并车的情况下，柴油机与绞车滚筒之间的机械损失达15%或以上；另外，绞车滚筒与大钩之间的机械损失也达15%。图中表明，在每分钟75英尺的速度下提升300000磅重量，大钩功率约需700马力；用10根钢丝绳提升此重量，柴油机功率约需1000马力。在西得克萨斯州的深井，钻一口井需要使用许多钻头，需要许多次起下钻作业，因此提升用的功率，影响就更大了；而南路易斯安那州的井，使用的钻头较少，钻杆的提升速度经常有意识地减慢，以便尽量减少使用重泥浆时的抽汲作用。如果提升速度减到每分钟50英尺，同样300000磅的重量，柴油机只需要800马力的功率。

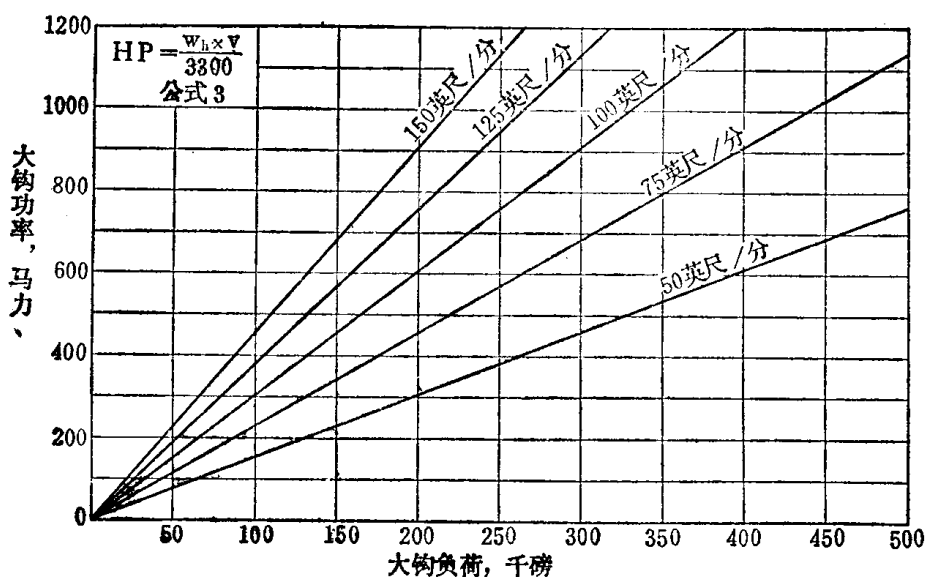


图 1-3 所需的大钩功率

提升负荷取决于井深、组成钻柱的钻杆和钻铤的尺寸及壁厚。考虑到井眼的摩擦，通常认为提升设备的能力应比提升负荷大30%左右的储备量是合理的。现在，普遍采用的钻具组合，包括钻铤和钻杆接头，其重量如下：钻头需用钻铤重量加压才能钻进，有时钻头

井 深 英尺	钻杆尺寸与单重 英寸×磅/英尺	钻 柱 重 量, 磅	
		在比重10磅/加仑泥浆中	在 空 气 中
10000	5 × 19.5	275000	325000
12000	4 ¹ / ₂ × 16.6	250000	300000
15000	3 ¹ / ₂ × 13.3	220000	260000

每英寸直径需要10000磅钻压。由于改进了牙轮钻头的性能，一只12 $\frac{1}{4}$ "钻头的钻压已经从几千磅增加到大于十万磅。下面是归纳休斯工具公司对于铣齿钻头建议的钻进技术措施：

最优的钻头钻压-转盘转速匹配

地 层 类 别	钻压, 磅/钻头每英寸直径	转盘转速, 转/分
软	4500	250
中	6000	60
硬	8000	40

考虑到钻铤在比重10磅/加仑泥浆中的浮力为自重的16%，并且要有10%的余量以保证钻杆处于受拉状态，各种不同地层需要的钻压换算成对钻铤重量的要求为：

井 径, 英寸	理想的钻压 磅/钻头每英寸直径	钻 铤 重 量, 磅	
		在比重10磅/加仑泥浆中	在 空 气 中
12 $\frac{1}{4}$	4500	65000	75000
	6000	84000	100000
	8000	115000	130000
8 $\frac{1}{2}$	4500	50000	60000
	6000	60000	70000
	8000	75000	90000

表中的数值清楚地表明，根据钻头直径，要使钻头获得理想的钻压，必须配用相当大的钻铤重量。上面所述的钻铤柱可以由各种不同直径的钻铤组成，但通常包括21~30个单根（7~10个钻铤立柱）。

六、粗略的功率估计方法

钻进时不可能极准确地决定实际需要的功率，这是因为这口井与另一口井、这一深度与另一深度可变因素太多的缘故。

许多有现场经验的人已经制订出非常实用的粗略估计方法，这些估计方法有：

1) 对于提升能力：每1000英尺井深需要100马力，这一指标并不仅限于一种规格的钻杆，但在各种规格的钻杆中，较适用的是4 $\frac{1}{2}$ 英寸钻杆。

2) 对于转盘能力：用4 $\frac{1}{2}$ 英寸钻杆，在10000英尺深度，转盘转速100转/分时需要100马力。

3) 泥浆泵的输入马力：需要的输入马力 = $10D^2$ 。这就是说，需要的输入马力等于井径（或钻头直径）的平方乘10的积。

4) 泥浆泵水功率的要求：每平方英寸井眼面积需要3~6钻头水马力。例如，一口10英寸直径的井需要 $10 \times 10 \times 0.785 \times 4$ 钻头水马力 = 314钻头水马力。

七、钻机性能的实用量度方法

除了引用“粗略的功率估计方法”以外，没有一个“规范”能够限定钻机的最低

能力。

1968年,全面调查各种钻井作业的实践表明,具有完成下列作业能力的钻机,不需淘汰,仍然是完全可用的钻机。

1) 提升能力:从额定钻杆的额定深度起(例如,4 $\frac{1}{2}$ 英寸钻杆,12500英尺),平均排放一根120英尺立柱为60~80秒。

2) 泥浆泵的能力:在钻井泥浆的上返速度为110~120英尺/分的条件下,能向钻头喷嘴输出400水马力。

3) 转盘的转速:在各种钻压和各种扭矩的条件下,转盘转速能控制在50~250转/分范围内。

1967年12月,美国石油学会出版了公报D10,其标题是“选用转盘钻井设备的程序”。运用这个程序完成一台钻机的计算是一项值得花费时间的练习。对于你所使用的钻机,并不需要掌握大量的资料,但你却能够在计算过程中学到许多知识。

第五节 钻 井 泥 浆 程 序

在本册的第二章中,将详尽地叙述钻井泥浆,因此,在本节中,只重点讨论钻井时钻井泥浆对钻头的实际作用。

一、编制钻井泥浆的程序

通常,钻井合同中详细说明泥浆程序的任务,包括钻井期间钻井泥浆的处理。合同上照例有纯经济性条款,规定谁来支付所用泥浆材料的购买费用。有些合同规定,承包商将付一笔最大费用,例如500美元,如果还不够,其余部分由经营者负担。

在较为困难的深井,经营者可能要支付全部泥浆费用,而要求某一泥浆公司的工程师或服务公司的工程师来指导泥浆的处理,以便使全井或任一井段的泥浆性能都保持在一定标准内。

不论作什么样的安排,可以假设司钻和钻井队长是了解钻井泥浆程序的细节的。经营者方面的工作人员和承包商方面的工作人员对所用泥浆类型的看法,不可能经常是完全一致的,但是要调解意见的分歧,使钻井工作进行顺利。

二、钻井泥浆

大多数司钻会同意,在一定的钻井时间内,钻井进尺最多的泥浆是清水。如果清水钻井能满足下列条件,那末,采用清水钻井是正确的。

- 1) 假使带出井眼的钻屑和切削的钻屑一样快;
- 2) 假使进行起下钻作业时,不存在井眼垮塌和卡钻的危险;
- 3) 假使不会遇到含气砂岩;
- 4) 假使接单根时,钻屑不会沉积在钻铤和钻头的四周。

要把上面四个条件权衡轻重,然后得出一种互相兼顾的泥浆。如果能合理地估计到各种因素,运用常识,司钻就能够顺利地钻进。

三、低固相泥浆的应用趋势

钻井泥浆的类型来回变动。过去三十多年来的任一时期内,观察家可以注意到人们都朝某一种泥浆“体系”发展,而且大家都不用前一时期的泥浆类型。应该说,在一定时期

内所接受的泥浆类型都是改进了的。

然而，近十年以来，低固相泥浆的应用不仅站住了脚，而且应用范围越来越广泛。这种泥浆体系的优点是：

- 1) 与前一时期所使用的任何泥浆体系相比，很多井的钻井速度较快；
- 2) 与此同时，在钻深井和复杂井时，司钻遇到的事故比前一时期少。

四、泥浆性能的基本原理

大部分钻井泥浆问题将在下一章中讨论，下面只列举影响钻井速度的几个问题。

1) 保持低固相泥浆不仅取决于在泥浆中谨慎地添加固体材料（例如墩土和重晶石），而且还取决于有系统地从泥浆流中除去微小的固体，这些微小的固体是在正常钻进中产生的，可用沉淀法或除泥器把它们除去。

2) 高比重泥浆（重泥浆）是影响快速钻进的。有很多充足的理由说明这一问题，这些理由将在本章以后加以说明。同时，高粘度泥浆也是如此。

3) 低粘度泥浆要求较高的环形空间上返速度，才能把钻屑带出井眼。泥浆泵停止运转时，钻屑在井眼中沉淀这一点必须牢记（这一问题将在第二章中讨论）。

4) 在泥浆较轻或较稀时，钻柱被井壁粘卡的问题相应减少。而且，在“不坚固的”地层中发生井漏的机会也减少了。这些优点有可能被异常高压层段的井喷可能性所抵销。

5) 总结以上几条原则，司钻应认识到，仔细保持泥浆性能就能加快钻井速度；同时，严格控制泥浆的性能是绝对必要的。这就要求比较熟悉泥浆和比较认真保持泥浆性能。做到了上述两条，很可能得到较快的钻井速度；做不到上述两条，可能会出现井漏、卡钻或井喷等事故。

五、气态钻井液

这里引用了“气态”两个字，说明压缩空气、天然气或其它人造气都可作为钻井液。用气态钻井液这个术语，是打算把所有这些气体作为一种钻井液类型，有别于“泥浆”这种钻井液，而泥浆是由溶解或悬浮有固相的液体（水和油）组成的。

尽管气态钻井液不再被认为是试验性的，尽管它们在某些地区的使用已经显示出某些确实值得注意的经济效果，但是，与液态的泥浆相比，它们还未被认为是具有普遍意义的钻井液。

六、改装钻机

把使用泥浆钻井的钻机改为用气态钻井液的钻机，必须进行下列改装。如果保留泥浆设备以备今后使用，那末，改装只包括增加部分设备和作很少的一些更动：

- 1) 增加空气压缩机，其功率大致与驱动泥浆泵的原动机功率相当。
- 2) 增加一条通到立管的空气管线。
- 3) 在井口增加一个旋转头或与之相当的装置，使上返的气体不会在井口周围喷泄。
- 4) 增加一条通到泥浆排出管线的气体排出管线，气体排出管线的末端至少应远离钻机200英尺。如果用天然气钻井时，这根管线的端部需要配备一个火焰燃烧器，点燃从环形空间排出来的天然气。如果该地区存在风向不变的季风，则出口管线的端部不应该位于钻机的上风向。

5) 空气进口管线应设计成进口管汇组，必要时可加注化学药剂。

6) 如果钻井液是空气，可考虑增加灭火设备。空气中的氧气与地层气体混合后就会构

成可燃性混合气。

7) 使用这类钻机有丰富经验的钻井工作人员, 十分重视冷却从压缩机排出的空气的重要性。在两级空气压缩机, 空气可在级间冷却; 在单级空气压缩机, 空气可在出口处冷却。

空气压缩机的排量和压力, 取决于钻井作业中的井深、井径和预期的钻井速度等, 这些将不在本节内讨论。

七、设备的维护

使用空气压缩机进行空气钻井, 带来了某些普通钻机没有的设备维护问题。预计可能遇到的问题有:

- 1) 空气压缩机的过热倾向;
- 2) 空气压缩机排气阀的断裂;
- 3) 空气进口滤网的堵塞;
- 4) 极严格的润滑问题。

像钻机的其它设备一样, 压缩机制造厂会提供包括上述和其它内容的操作手册。操作压缩机的井队工作人员应该熟悉手册的内容。

八、气态钻井液的历史

在二十世纪四十年代, 钻井工业首先宣布用空气和天然气钻井。所钻的油井在本行业中产生如此巨大的印象, 以致使人轻易相信大部分的钻井经济问题业已解决。结果, 几乎所有人都从事于气体钻井。可是, 好景不长, 不久一些油井开始遇到地层不合适、设备不合适和几乎无能为力来对付水进入井眼的问题。

气态钻井液的应用使冲击钻(在旋转钻具的端部装有冲击锤的钻具)得到一定的发展。这种钻具在用泥浆钻进时没有什么发展前途, 但是, 用空气和天然气钻井, 恢复了它在钻井工业中的地位并且得到了非常缓慢的发展, 因而它的声誉现在要比它历史上任何时刻都好。

同时, 一些研究人员一点点地攻克气态钻井液面临的一个大难关, 即克服无法对付的井眼出水难关。应该说, 在这方面已经取得了进展。在数年以前, 那些不可能使用气态钻井液的地方, 现在可在整个钻井过程中采用气体钻井, 节省了时间和费用。如果进一步再解决一些遗留的井眼出水问题, 那还会节省更多的时间和费用。

九、简要地叙述几点井眼出水的问题

在气体钻井中, 确切地说, 钻屑应该以粉末状返回地面。但是, 当钻头钻经含水地层时, 粉末状钻屑就会变成泥糊。如果水的流量不大, 生成的泥糊不是一种可以流动的液态泥浆, 而是一种可能堵住钻头和环形空间的塑性体。

解决这种问题的措施是加注大量的水, 使塑性体转变为液态泥浆, 把它从井眼中吹出来。另外一种解决办法是加发泡剂, 把侵入井眼的水变成粘稠而稳定的泡沫, 随后跟着空气或天然气一起被吹出井眼。

另一种解决办法是把一种气体(例如四氟化硅)强迫注入含水地层, 这种气体与水接触形成一种密封剂, 堵住出水。

因此可以说, 在对付井眼出水问题方面, 已经有几套办法, 然而, 应该指出的是, 所有这些补救措施得消耗资金和时间, 从而抵销一部分气体钻井的优点。

第六节 钻 头

钻头是钻井的一个重要因素。假使我们有磨不坏的钻头，或不管使用好长时间仍能工作的钻头，那末我们就可以不要司钻和钻井队长，整个钻井过程就能自动地进行，一旦井眼钻达预定深度时，就按计划停止钻井。我们既不需要为了取出磨钝的钻头加快起下钻作业而建造大型钻机，也不需要5~6名钻工，因为只需要1~2名钻工接单根就够了。事实上，钻头要磨坏，而且往往磨损得很快，有时会出现意外的事故，因此，我们需要工作人员来判断和分析钻头的磨损和工作情况，做出正确的决定。有时，所使用的钻头与地层不相适应，例如，一只仅适用于钻软地层的长齿钻头错误地使用于钻含有硬石灰岩或硬砂岩夹层的地质中。在其它因素合适的条件下，高的转盘转速可在软地层中获得较多的进尺，但是，对硬地层采用高的转速就会产生冲击负荷，相当快地毁坏软地层型钻头的牙齿。在硬地层，铣齿钻头切削页岩的速度比硬质合金镶齿钻头快，但是一个燧石夹层就会毁坏铣齿钻头。司钻应该能够掌握这些情况，采取适当措施。有时，司钻和钻井队长应该判断地层，以便及时下入一只合适的钻头。

必须使入井钻头的类型完全适合所钻的地层结构，在某种意义上说，这就可能获得最好的结果。从《钻机及其维护保养》第二章“钻头”中可以看出，软地层钻头是长齿型钻头，表面敷焊硬质合金以增强其耐磨性。这种钻头适用于较软岩层，但在中硬地层钻进时，硬质合金就会剥落，齿会崩断。软地层钻头，牙轮有移轴特征，而硬地层钻头移轴不能太大，否则，会很快磨钝钻头牙齿。压缩破碎即压碎，是钻硬的致密地层的唯一方法，靠钻头齿的压碎作用钻进的钻头，应该使用低的转盘转速，其理由为：

1) 应该要有足够的时间在每个牙轮齿下面的地层压出一个楔面，然后陷入和靠侧向力形成钻屑。

2) 高转速所造成的冲击负荷会给钻头、钻杆和钻铤造成严重的损害。

靠剪力或刮削作用钻进的钻头，如刮刀钻头和软地层牙轮钻头，可在高转速下旋转而不会产生有害的影响。

正如《钻机及其维护保养》第二章所说的，金刚石钻头的功能与刮刀钻头的功能一样，特别是钻压和转速都直接与钻进速度有关。钻头上的金刚石必须保持清洁和进行冷却，因此水功率对于金刚石钻头的性能影响与牙轮钻头一样重要。在某些条件下，金刚石钻头的钻进速度几乎可以和牙轮钻头一样快。由于金刚石钻头的使用寿命比牙轮钻头长好几倍，尽管金刚石钻头的价格比较昂贵，但每英尺的钻进成本比较低。所以不论使用哪种类型的钻头，用每英尺的钻进成本来分析钻头的性能是很重要的。

根据钻速降低，钻杆扭矩或其它显示，一旦钻头磨钝时，就应起钻换钻头。钻时是判断钻头在一般条件下工作好坏的一个参数。它与钻压、转速有关，同时也和相似条件下同类钻头过去运转的情况有关，在这方面，司钻通常是最有发言权的。

第七节 钻 时 试 验

长期以来，司钻认识到钻速是钻头工作状况的反映。即钻头是磨钝还是锐利，所钻地

层的类型、转速、钻压和水功率因素是否使用得当。一只锐利的钻头，用在相适应的地层内，采用正确的措施，其钻进速度要比一只磨损的钻头或用在不相适应的地层内、采用错误措施的钻头快得多。为此，司钻应定期观察每钻进一英尺、十英尺或一个方钻杆行程所需的时间，通常，把这个时间换算成每小时钻进多少英尺，作为对比钻头的常用数据。现在，许多钻机配备有钻进速度记录仪，这样就能很快地检查和对比正在钻进中的机械钻速。如果钻机上没有配备这种自动记录仪，通过在方钻杆上作标记，司钻也可以检查钻进一英尺或较长井段所需要的时间。在进行钻时试验时，应注意钻压要保持不变，然后将所测得的钻进一英尺所需的时间（分或秒），与上次或以后的试验进行对比。这种钻时试验方法是比较容易理解的，也是判断钻头性能最普通的方法。这种方法对于粗略估计钻头性能是足够的，但有时也可能出差错。

一种比较准确的测量钻速的方法，最初是在1958年由A.鲁宾斯基提出的“最佳钻压求取法”。这种方法是利用钻柱是个弹性体的原理，好象弹簧一样，它的长度随它所承受的张力而异。这个方法是通过在钻头加一定量的钻压，然后刹住绞车来实现的。试验期间，泥浆排量和转盘转速都保持不变。因为绞车被刹住，随着钻头往下钻，较多的负荷悬吊在天车上，从而使加在钻头上的钻压逐渐减小，这时，仔细观察每减小一定数量钻压所需的时间（通常以每2000~5000磅为一级）。测定时，最好使用秒表，特别是在钻速很快的情况下，记下每减小2000~5000磅钻压所需的秒数，除非在试验中放松刹车，否则钻压总是逐渐减小。应用最佳钻压求取法很快可以确定最佳钻压，如下表所示。这种试验应该重复进行几次，以便取得平均值，对于地层岩性微小变化所造成的影响可忽略不计。

在砂质页岩中进行的最佳钻压求取法

钻 压, 千磅	钻压减小所需时间, 秒
70~65	26
65~60	26
60~55	25 (最佳钻压)
55~50	28
50~45	31
45~40	34
40~35	36
35~30	52
30~25	70

试验条件：井眼尺寸是9⁵/₈英寸，井深10360英尺，钻铤 630 英尺，5英寸钻杆 9730 英尺，转盘转速130~150转/分，钻头水功率为 434 水马力。这些试验表明，最好的结果是25秒，使用的钻压约60000磅。

可以把最佳钻压求取试验从每减小一给定钻压所需的秒数换算成一张“上提”和“下放”图，见图1-4。根据上述例子所给的条件。这张图表说明，钻压每减小1000磅负荷方钻杆下移0.06英尺，从上述最佳钻压求取法的例子中，我们看到，钻压减小5000磅最短的一个时间为25秒，此时的钻压60000磅即为最佳钻压，将最佳钻压用机械钻速（英尺/小时）来表示，即